



EFEKTIVITAS NANOKOMPOSIT TiO_2 /ZEOLIT PADA PANEL KERAMIK DALAM PENURUNAN LIMBAH FENOL

Siti Naimah, Silvie Ardhanie Aviandharie dan Rahyani Ermawati

Balai Besar Kimia dan Kemasan - Kementerian Perindustrian

Jl. Raya Kimia No. 1 Pekayon, Jakarta Timur

E-mail: st.naimah@gmail.com

Diterima: 27 Januari 2016

Diperbaiki: 20 September 2016

Disetujui: 30 September 2016

ABSTRAK

EFEKTIVITAS NANOKOMPOSIT TiO_2 /ZEOLIT PADA PANEL KERAMIK DALAM PENURUNAN LIMBAH FENOL. Telah dilakukan penelitian mengenai efektivitas nanokomposit TiO_2 /zeolit (nanokomposit TZ) pada panel keramik dalam penurunan limbah fenol. Penelitian aplikasi nanokomposit TZ telah banyak dilakukan dalam menurunkan limbah cair organik secara fotokatalisis. Jenis nanokomposit yang banyak digunakan dalam bentuk serbuk, granul, lapisan tipis pada kaca dan *stainless steel*. Oleh karena itu, penelitian ini akan memanfaatkan panel keramik jenis *water base* dan *solvent base* sebagai media menempelnya nanokomposit TZ. Hasil penelitian menunjukkan keramik *solvent base* memiliki tekstur yang mudah melekatkan nanokomposit TZ sehingga komposit tidak mudah terkelupas selama proses aplikasi, proses aktivasi dan reaktivasi komposit serta tahan pada suhu 350 °C sedangkan keramik *water base* hanya tahan pada suhu 200°C di bawah suhu yang diperlukan untuk aktivasi komposit yaitu 350 °C. Keramik *solvent base* dibuat dengan ketebalan 0,5 mm dan luas area 0,12 m². Variabel *flow rate* yang digunakan adalah 15 mL/menit, 20 mL/menit, 25 mL/menit, 30 mL/menit, 35 mL/menit, 40 mL/menit, 45 mL/menit, 50 mL/menit dan diperoleh hasil penurunan fenol terbaik 3,59 mg/L pada *flow rate* 20 mL/menit. *Flow rate* optimum tersebut digunakan dalam menguji efektivitas nanokomposit TZ pada panel keramik *solvent base* setelah dipakai beberapa kali. Persentase penurunan limbah fenol setiap pengulangan tidak berbeda signifikan yaitu pemakaian pertama 63,8%, kedua 63,7% dan ketiga 63,2%. Hal ini menunjukkan bahwa lapisan komposit masih melekat kuat pada keramik dan masih efektif. Panel keramik dapat menjadi alternatif sebagai media nanokomposit karena ringan, kuat, mudah dibentuk, tahan panas sehingga akan mempermudah penggunaan nanokomposit dalam aplikasinya.

Kata Kunci: Nanokomposit, TiO_2 , Zeolit, Keramik, Limbah fenol

ABSTRACT

THE EFFECTIVENESS OF NANOCOMPOSITE TiO_2 /ZEOLITE ON CERAMIC PANEL IN PHENOL WASTE REDUCTION. Research on the effectiveness of nanocomposite TiO_2 /zeolite (TZ nanocomposite) in the ceramic panel in phenol waste reduction has conducted. TZ application research has been done in lowering the photocatalytic organic liquid wastes. Nanocomposite types are widely used in the form of powders, granules, thin layers on glass and stainless steel. TZ nanocomposite application with a thin layer on the ceramic to lower the organic matter in the wastewater has not been done. Kind of ceramic used is water base ceramic and solvent base ceramic. The results showed solvent base ceramic has a texture that easily attaches TZ so that the composite is not easily peeled off during use, the process of activation and reactivation of composite and resistant at 350 °C while water base ceramic only hold at 200 °C below the temperature required for activation composite is 350 °C. Ceramic solvent base formed a square, a thickness of 0.5 mm and an area of 0.12 m². From 8 variable flow rate are 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50 mL/minute and the best results obtained phenol decline of 3.59 mg / L in the flow rate of 20 mL/minute. The optimum flow rate used in testing the effectiveness of TZ nanocomposite on the ceramic panel after repeated use. The result is a insignificant difference in the percentage decrease of phenol waste every repetition which is the first usage 63.8%, second 63.7% and third 63.2%. This suggests that the composite coating was still strongly attached to the ceramics and still be effective. Therefore, the ceramic panels may be another alternative in attaching nanocomposite because they are lightweight, strong, malleable, heat resistant so that it will facilitate the use of nanocomposite applications.

Keywords: Nanocomposite, TiO_2 , Zeolite, Ceramic, Fenol waste

PENDAHULUAN

Penggunaan komposit TiO_2 /adsorben berbentuk serbuk pada teknologi fotokatalisis dalam menurunkan limbah cair, seperti fenol [1], krom [2,3] dan zat warna [4], memiliki kelemahan karena membutuhkan waktu lama dalam memisahkan komposit dari limbah cair, dan sebagian kecil komposit serbuk masih dapat terbawa dalam keluaran pengolahan limbah sehingga tidak ekonomis. TiO_2 yang dikompositkan pada zeolit dengan ukuran 5-8 mm [5,6] setelah penggunaan berulang kali lapisan TiO_2 dapat sedikit terkelupas. Lapisan tipis katalis TiO_2 pada dinding reaktor berbentuk tabung kaca [7] atau diaplikasikan pada *stainless steel* dalam menurunkan limbah organik [8] memiliki kelemahan mudah tergores.

Negara Indonesia merupakan salah satu negara penghasil utama tekstil dan bahan sejenisnya setelah India dan Pakistan. Banyaknya industri tekstil di Indonesia tidak hanya industri skala besar dan menengah tapi juga dalam skala kecil bahkan skala rumah tangga. Oleh karena itu, pencemaran yang ditimbulkan industri tersebut tidak hanya pada kawasan-kawasan industri namun juga terjadi di perkampungan-perkampungan padat penduduk. Industri tekstil dalam prosesnya melibatkan beberapa proses kimia sehingga menyebabkan kandungan limbah yang multikomponen serta akan sulit dalam pengolahannya. Limbah industri tekstil dikategorikan sebagai limbah yang berbahaya karena bersifat mutagen dan karsinogen. Hal ini karena pewarna biasanya memiliki struktur aromatik kompleks yang membuat mereka lebih stabil dan susah untuk diuraikan [9].

Beberapa metode telah digunakan untuk pengolahan limbah industri tekstil antara lain seperti biodegradasi [10], adsorpsi [11] dan koagulasi [12]. Metode-metode tersebut menimbulkan polutan baru karena hanya memindahkan limbah tersebut ke media lain seperti membran dan adsorben. Salah satu alternatif metode pengolahan limbah tekstil adalah dengan menggunakan prinsip fotokatalitik [13]. Kelebihan proses fotokatalisis dibandingkan dengan metode konvensional karena akan didegradasi menjadi H_2O dan CO_2 yang tidak berbahaya [14]. Proses ini juga tidak memerlukan pemakaian bahan kimia. Di samping itu fotokatalisis merupakan metode yang potensial dan efektif dalam mengolah limbah-limbah senyawa organik dan non organik karena kemampuannya sebagai reduktor dan oksidator.

Penelitian mengenai fotokatalitik untuk degradasi limbah organik dan non organik telah banyak misalnya semikonduktor seperti SnO_2 , ZnO , dan Cu_2S untuk proses degradasi secara fotokatalitik [15]. TiO_2 banyak digunakan sebagai semikonduktor untuk degradasi karena mampu mendegradasi senyawa-senyawa organik dan non-organik. Sampai saat ini banyak penelitian yang membuktikan kemampuan fotokatalisis dengan

semikonduktor TiO_2 pada degradasi limbah organik dan non-organik seperti zat pewarna sintetis [14,16,17], fenol [1,18] dan krom [2,3].

Proses fotokatalis terjadi pada fasa teradsorpsi. Hal ini menimbulkan masalah baru dalam proses fotodegradasi karena semikonduktor yang digunakan memiliki daya adsorpsi lemah. Penambahan suatu adsorben yang dapat menopang semikonduktor tersebut dapat mengurangi kekurangan tersebut. Dengan menggabungkan fotokatalis dan adsorben, diharapkan kontak fotokatalis dengan polutan menjadi lebih optimal. Polutan yang teradsorpsi oleh penyangga dapat langsung dioksidasi oleh fotokatalis menjadi CO_2 dan H_2O dalam waktu yang cukup lama untuk menjadi jenuh sehingga proses degradasi polutan dapat berlangsung lebih efisien [18].

Dalam penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penurunan limbah fenol menggunakan nanokomposit TiO_2 dan adsorben zeolit berbentuk granul dengan ukuran 5-8 mm yang ditempatkan pada permukaan silinder berputar [5]. Saat silinder berputar terjadi gesekan antar partikel zeolit granul sehingga lapisan TiO_2 pada zeolit terlepas sehingga perlu dicari media lain untuk nanokomposit TZ. Pada penelitian ini digunakan keramik sebagai alternatif lain dalam pelapisan nanokomposit TiO_2 /zeolit (nanokomposit TZ). Keramik sebagai media dipilih karena mudah dibentuk menjadi lembaran tipis sehingga dalam proses kalsinasi dapat disusun dalam rak tanur yang akan mengefisienkan waktu proses kalsinasi nanokomposit TZ. Tulisan ini bertujuan menguji efektivitas nanokomposit TZ yang dilapis pada panel keramik untuk mengolah limbah industri tekstil. Limbah fenol sintetis digunakan sebagai model dalam pengujian kemampuan fotodegradasi.

METODE PERCOBAAN

Bahan

Bahan-bahan yang digunakan adalah keramik yang diformulasi dengan insulator berbasis *water base* dan *solvent base* diperoleh dari salah satu industri di Jabotabek, TiO_2 Degussa P-25, zeolit aktif, akuades, *Tetraethylenorthosilicate (TEOS)*, fenol 99% Merck, zat pereaksi analisa fenol. Peralatan yang digunakan meliputi reaktor uji coba fotokatalitik, alat sonikasi (*Chromtech*), oven (*Memmert*), tanur (*Thermolyne-Type-21100*), neraca analitik (*Kern*), *Surface Area Analyzer (SAA) (Nova 3200e Quantachrome)*, mikroskop digital (*Keyence VHX-5000 lensa ZS 200*), *hotplate* dan *stirrer (Jp Selecta)*.

Cara Kerja

Persiapan Media Fotokatalitik

Keramik dengan pelarut solven (*solvent base*) dan keramik dengan pelarut air (*water base*) dibentuk

menggunakan cetakan segiempat, tebal 5 mm, total luas area $0,12 \text{ m}^2$ dan dikeringkan pada suhu ruang selama 2 hari hingga 3 hari.

Preparasi Nanokomposit $\text{TiO}_2/\text{Zeolit}$

TiO_2 dan zeolit aktif ditimbang dengan perbandingan 3:2 [4] dengan berat maksimum total 5 gram, dilarutkan dengan 200 mL *aquadest*, disonikasi selama 30 menit. Setelah ditambahkan dengan *Tetraethyl orthosilicate (TEOS)* 0,10 mL disonikasi kembali ± 5 menit. Selanjutnya ditambah zeolit yang telah ditimbang kemudian disonikasi selama 30 menit. Larutan dipanaskan di atas *hot plate* pada suhu 80°C sampai 90°C sambil diaduk sampai airnya tersisa $\pm 20 - 30 \text{ mL}$.

Pembuatan Lapis Tipis Nanokomposit pada Panel Keramik

Larutan nanokomposit TZ dioleskan pada panel keramik dan diaktivasi dengan mengkalsinasi dalam tanur pada suhu 350°C selama 2 jam.

Preparasi Limbah Fenol Sintetis

Konsentrasi awal limbah fenol sintetis yang digunakan adalah 10 mg/L. Umumnya konsentrasi awal limbah fenol yang terdapat pada limbah industri tekstil berkisar 5 mg/L hingga 12 mg/L.

Persiapan Reaktor Uji Coba

Jenis reaktor uji coba skala laboratorium terdiri dari tangki limbah cair, reaktor alir fotokatalitik yang dilengkapi kolom pendistribusi dengan beberapa lubang agar limbah masuk merata di permukaan komposit, pelat dengan sudut kemiringan 10° terhadap horizontal sebagai tempat meletakkan panel keramik yang telah dilapisi nanokomposit TZ, lampu *UV* jenis *black light* sebagai sumber foton, kolom penampung akhir, tangki hasil olahan.

Uji Coba

Uji efektivitas nanokomposit TZ yang akan dilapis pada panel keramik dilakukan dengan variasi ketahanan komposit setelah digunakan secara berulang. Nanokomposit TZ pada panel keramik dipanaskan dengan lampu *UV* dalam reaktor alir fotokatalitik selama 1 jam. Analisis awal penentuan *flow rate* optimal dilakukan dengan menyiapkan limbah fenol 10 mg/L sebanyak 20 L kemudian diukur *flow rate* nya. Variabel pengukurannya 15 mL/menit, 20 mL/menit, 25 mL/menit, 30 mL/menit, 35 mL/menit, 40 mL/menit, 45 mL/menit, 50 mL/menit. Limbah yang diproses, dianalisis konsentrasi fenolnya. Setelah diperoleh *flow rate* optimal, penelitian dilanjutkan dengan menguji ketahanan nanokomposit

TZ setelah dipakai secara berulang sampai tiga kali pengulangan (triplo). Setiap pengulangan, nanokomposit TZ diaktivasi terlebih dahulu dengan mengkalsinasi pada suhu 350°C selama 2 jam.

Analisis

Prosedur analisis fenol menggunakan metode US EPA 420.1 dengan alat Spektrofotometer visibel. Penurunan fenol dianalisis dengan membandingkan konsentrasi fenol sebelum dan setelah pengolahan. Hasil yang diperoleh dibandingkan dengan konsentrasi maksimum fenol dalam baku mutu limbah industri tekstil SK Menteri Lingkungan Hidup No: KEP 51/MENLH/10/1995.

HASIL DAN PEMBAHASAN

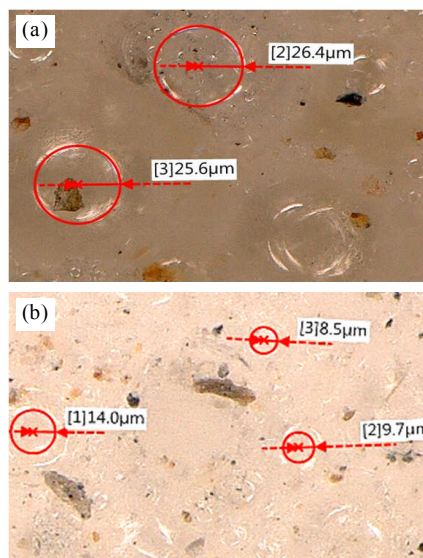
Keramik *solvent base* memiliki tekstur yang mudah melekatkan nanokomposit TZ sehingga komposit tidak mudah terkelupas selama aplikasi, aktivasi dan reaktivasi pada suhu 350°C sedangkan keramik *water base* tahan pada suhu 200°C di bawah suhu yang diperlukan untuk aktivasi komposit yaitu 350°C . Gambar 1 (a) menunjukkan keramik *water base* berubah menjadi kecoklatan, tekstur keramik menjadi retak-retak. Gambar 1(b) menunjukkan keramik *solvent base* mempunyai warna tetap putih serta tekstur seperti sebelum proses pemanasan sehingga komposit tetap melekat kuat.



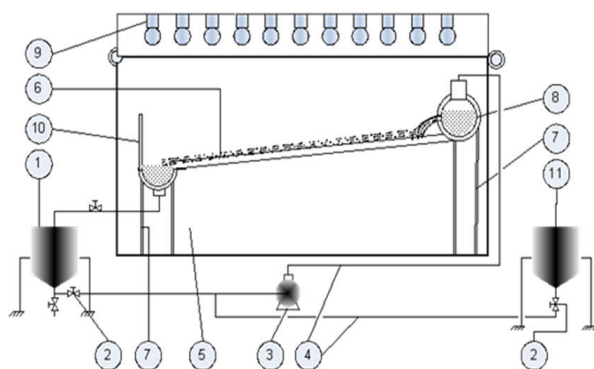
Gambar 1. Keramik water base (a) dan keramik solvent base (b) setelah dikalsinasi 350°C

Perbedaan pada tekstur dari kedua jenis keramik setelah dikalsinasi dapat diketahui dari hasil analisis mikroskopik menggunakan mikroskop digital pembesaran 500 x (Gambar 2 dan Gambar 3).

Berdasarkan Gambar 2 (a) dan Gambar 2 (b) terlihat tekstur keramik *water base* mempunyai diameter rongga 2 sampai 3 kali lebih besar dibandingkan dengan keramik *solvent base* jadi kekuatan keramik *water base* lebih rendah daripada kekuatan keramik *solvent base*. Keramik *water base* lebih mudah patah/retak, rapuh, mudah menyerap panas dan tahan panas tinggi.



Gambar 2. Foto mikroskopik permukaan (a). keramik *water base* dan (b). keramik *solvent base*.



Keterangan gambar:

- | | |
|---|---------------------------|
| 1. Tangki hasil olahan | 7. Penyangga kolom |
| 2. Ball valve | 8. Kolom pendistribusi |
| 3. Pompa sirkulasi | 9. Lampu UV |
| 4. Pipa instalasi | 10. Kolom penampung akhir |
| 5. Ruang penyinaran UV | 11. Tangki limbah cair |
| 6. Panel keramik TiO_2 -Zeolit | |

Gambar 3. Desain reaktor uji coba fotokatalitik [19].

Luas permukaan spesifik dari masing-masing keramik diperoleh dengan alat *Surface Area Analyser (SAA)* menggunakan teori *Brunauer, Emmett and Teller (BET)* dan hasilnya dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil pengujian luas permukaan spesifik (*BET*)

No.	Nama sampel	Specific surface area (m^2/g)	Total pore volume (cc/g)	Average pore size (\AA)
1.	Keramik <i>water base</i>	0,210	$0,379 \times 10^{-3}$	$7,21089 \times 10^1$
2.	Keramik <i>solvent base</i>	0,936	$1,851 \times 10^{-3}$	$7,91061 \times 10^1$

Hasil uji rata-rata ukuran pori kedua jenis keramik mempunyai nilai hampir sama. Perbedaan pada total volume pori dan luas permukaan spesifik. Keramik *water base* memiliki total volume pori sekitar 4,5 kali lebih kecil daripada keramik *solvent base* sehingga luas area

permukaan keramik *water base* juga akan 4,5 kali lebih kecil dibandingkan keramik *solvent base*. Hal ini menyebabkan komposit yang menempel pada keramik *solvent base* akan melekat lebih kuat dibandingkan pada keramik *water base*.

Berdasarkan hasil evaluasi, selanjutnya dalam penelitian ini digunakan keramik *solvent base* sebagai panel tempat melekatkan nanokomposit TZ untuk menurunkan zat organik fenol pada limbah cair dengan teknologi fotokatalisis dengan variasi ketahanan komposit setelah digunakan secara berulang.

Penelitian menggunakan reaktor (Gambar 3 dan Gambar 4) dengan delapan variabel *flow rate* yaitu 15 mL/menit, 20 mL/menit, 25 mL/menit, 30 mL/menit, 35 mL/menit, 40 mL/menit, 45 mL/menit, 50 mL/menit dan hasil penurunan konsentrasi fenol dapat dilihat pada Tabel 2.



Gambar 4. Bagian dalam reaktor alir fotokatalitik

Keterangan Gambar:

- | |
|---|
| 1. Dinding reaktor |
| 2. Inlet |
| 3. Kolom pendistribusi |
| 4. Lampu UV |
| 5. Panel keramik TiO_2 -Zeolit |
| 6. Kolom penampung akhir |

Tabel 2. Hasil penurunan konsentrasi fenol dengan variabel *flow rate*.

Nomor Sampel	Flow Rate (mL/menit)	Konsentrasi (mg/L)
1.	15	4,28
2.	20	3,59
3.	25	5,09
4.	30	5,80
5.	35	6,90
6.	40	7,95
7.	45	8,79
8.	50	9,07

Berdasarkan hasil percobaan, *flow rate* 20 mL/menit dapat menurunkan konsentrasi fenol paling baik sebesar 3,59 mg/L. Percobaan dilanjutkan dengan menguji efektivitas nanokomposit TZ pada panel keramik dengan melakukan tiga kali pengulangan. Setiap pengulangan, nanokomposit TZ diaktivasi terlebih dahulu dengan mengkalsinasi pada suhu 350 °C selama 2 jam. Hasil penurunan konsentrasi fenol dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil penurunan fenol dengan pemakaian nanokomposit TZ dengan *flow rate* 20 mL/menit.

Pemakaian TZ pada panel keramik	Ulangan	Konsentrasi (mg/L)	Rata-rata penurunan fenol (%)
Pemakaian I	1	3,60	63,8
	2	3,62	
	3	3,65	
Pemakaian II	1	3,61	63,7
	2	3,65	
	3	3,62	
Pemakaian III	1	3,64	63,2
	2	3,66	
	3	3,74	

Pada hasil pemakaian I dari limbah fenol awal 10 mg/L mengalami penurunan hingga rata-rata konsentrasi fenol pada sampel akhir 3,62 mg/L. Sampel akhir pada pemakaian II 3,63 mg/L dan pemakaian III 3,68 mg/L. Persentase penurunan konsentrasi fenol setiap pengulangan tidak berbeda secara signifikan yaitu pemakaian I 63,8%, II 63,7% dan III 63,2%. Hal ini menunjukkan bahwa lapisan komposit masih melekat kuat pada keramik dan masih efektif walaupun sudah dipakai tiga kali. Panel keramik bisa dipakai berulang kali karena keramik tidak ikut bereaksi hanya sebagai media nanokomposit TZ. Panel keramik berfungsi sebagai tempat penyimpanan panas dari sinar *UV*. Oleh karena itu panel keramik dapat menjadi alternatif lain dalam menempelkan nanokomposit karena ringan, kuat, mudah dibentuk, tahan panas, serta nanokomposit dapat diaktifkan kembali melalui proses kalsinasi sehingga akan mempermudah dalam aplikasi penggunaan nanokomposit pada bidang lain.

Reaktor alir fotokatalitik dapat menjadi pilihan dalam mengolah limbah industri tekstil. Untuk mencapai konsentrasi limbah fenol maksimum 0,5 mg/L sesuai yang dipersyaratkan dalam SK Menteri Lingkungan Hidup No: KEP 51/MENLH/10/1995 maka luas area nanokomposit TZ pada panel keramik perlu ditambah untuk memperluas kontak limbah dengan nanokomposit TZ.

KESIMPULAN

Nanokomposit $\text{TiO}_2/\text{zeolit}$ yang dilekatkan pada panel keramik *solvent base* sangat efektif dipakai dalam menurunkan limbah cair fenol. Hasil penelitian pada *flow rate* optimum 20 mL/menit menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan signifikan pada persentase penurunan limbah fenol selama tiga kali pemakaian yaitu pemakaian pertama 63,8%, kedua 63,7% dan ketiga 63,2%. Hal ini menunjukkan bahwa lapisan komposit masih melekat kuat pada keramik dan masih efektif serta dapat diaktifkan kembali melalui proses kalsinasi. Oleh karena itu panel keramik *solvent base* dapat menjadi alternatif lain sebagai media nanokomposit untuk aplikasi lainnya karena ringan, kuat, mudah dibentuk, dan tahan panas.

DAFTAR ACUAN

- [1]. W.Wei, C.Yu, Q.Zhao, X.Qian, and Y.Wan. "Ordered Mesoporous Carbon-Based Titania as a Reusable Adsorbent-Catalyst for Removing Phenol from Water". *Chinese Journal of Catalysis*, vol.34, Issue 6, p. 1066-1075. 2013.
- [2]. S.Naimah dan R.Ermawati. "Efektivitas Fotokatalis TiO_2 yang Dikompositkan dengan Karbon Aktif dan Precipitated Calcium Carbonat dalam Menurunkan Chrom dari Limbah Industri Elektroplating". *Jurnal Sains Materi Indonesia*, vol. 13, no.1, pp.17-21. Oktober 2011.
- [3]. B.N. Jati dan S.A. Aviandharie. "Kombinasi Teknologi Elektrokoagulasi dan Fotokatalisis dalam Mendegradasi Cr(VI) sebagai Limbah Berbahaya dan Beracun". *Jurnal Kimia dan Kemasan*, vol.37, no.2, pp. 133-140. 2015.
- [4]. S.Naimah, S.A.Aviandharie, B.N.Jati, N.N.Aidha, dan A.Arianita. "Degradasi Zat Warna pada Limbah Cair Industri Tekstil dengan Metode Fotokatalitik Menggunakan Nanokomposit TiO_2 -Zeolit". *Jurnal Kimia dan Kemasan*, vol.36, no.2, pp. 225-236. 2014a.
- [5]. S.Naimah, R.Ermawati, K.Viriya, dan Slamet. "Uji kinerja Fotoreaktor Drum Berputar Skala Pilot Plant untuk Pengolahan Air Limbah Fenol Menggunakan Katalis TiO_2/Zal ". *Jurnal Riset Industri*, vol. 7 no.2, pp.93-100. 2013.
- [6]. S.Naimah, R.Ermawati, S.A.Aviandharie, dan B.N.Jati. "Karakteristik TiO_2 -Zeolit dalam Pengolahan Limbah Tekstil dengan Fotoreaktor Silinder Berputar Skala Pilot Plant". *Jurnal Sains Materi Indonesia*, vol. 15 no.4, pp.226-232. 2014.
- [7]. M.R.E. Estevez, C.F. Rodriguez, O.M.G. Diaz, J.A. Navio, D.F.Hevia, and J.M.D. Rodriguez. "Enhancement of Stability and Photoactivity of TiO_2 Coatings on Annular Glass Reactors to Remove Emerging Pollutants from Waters". *Chemical Eng. Journal*, vol. 279, pp.488-497, 2015.
- [8]. S.W. da Silva, J.P. Bortolozzi, E.D. Banus, A.M. Bernardes, and M.A. Ulla. " TiO_2 Thick Films Supported on Stainless Steel Foams and their Photoactivity in the Nonylphenol Ethoxylate Mineralization". *Chemical Engineering Journal*, vol. 283, pp.1264-1272. 2016.
- [9]. A.Z. Jabbar, A.G. Hadi, and F. Sami. "Removal of Azo Dye from Aqueous Solutions using Chitosan". *Oriental Journal of Chemistry*, vol. 30, no.2, pp. 571-575. 2014.
- [10]. N.F. Ali and R.S.R. El-Mohamedy. "Microbial Decolourization of Textile Waste Water". *Journal of Saudi Chemical Society*, vol.16, no.2, pp. 117-123. 2012.
- [11]. M.B. Kurade, T.R. Waghmode, R.V. Khandare, B.H. Jeon, S.P. Govindwar. "Biodegradation and Detoxification of Textile Dye Disperse Red 54 by

- Brevibacillus Laterosporus and Determination of its Metabolic Fate". *Journal Bioscience and Bioengineering*, vol.121, no.4, pp. 442-449. 2015.
- [12]. S. M. Stagnaro, C. Volzone, and L. Huck. "Nanoclay as Adsorbent: Evaluation for Removing Dyes used in the Textile Industry". in *Proc. International Congress of Science and Technology of Metallurgy and Materials*, SAM-CONAMET, 2013, pp. 586-591.
- [13]. A.K. Verma, R.R. Dash, and P. Bhunia. "A review on Chemical Coagulation/Flocculation Technologies for Removal of Colour from Textile Wastewaters". *Journal of Environmental Management*, vol. 93, no.1, pp. 154-168. 2012.
- [14]. D.I. Anwar and D. Mulyadi. "Synthesis of Fe-TiO₂ Composite as a Photocatalyst for Degradation of Methylene Blue". in *Proc 3rd International Seminar on Chemistry*, 2014, pp. 49-54.
- [15]. A. Enesca, L. Isac, and A. Duta. "Hybrid Structure Comprised of SnO₂, ZnO and Cu₂S Thin Film Semiconductors with Controlled Optoelectric and Photocatalytic Properties". *Thin Solid Films*, vol. 542, p. 31-37. 2013.
- [16]. K. Seyyedi, M.A.F. Jahromi. "Decolorization of Azo Dye C.I. Direct Black 38 by Photocatalytic Method Using TiO₂ and Optimizing of Process". in *Proc 5th International Conference on Environmental Science and Development - ICESD*, 2014, pp. 115-119.
- [17]. I. Stambolovaa, M. Shipochkaa, V. Blaskova, A. Loukanovb, and S. Vassilev. "Sprayed Nanostructured TiO₂ Films for Efficient Photocatalytic Degradation of Textile Azo Dye". *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, vol. 117, pp. 19-26. 2012.
- [18]. T. Sakai, A. Da Loves, T. Okada, and S. Mishima. "Titania/CnTAB Nanoskeleton as Adsorbent and Photocatalyst for Removal of Alkylphenols Dissolved in Water". *Journal of Hazardous Materials*, vol. 248-249, pp. 487-495. 2013.
- [19]. R. Ermawati, D. Rahmi, S. Naimah, I. Rumondang, dan M.T. Marpaung. "Pengembangan Nanokomposit Berbasis TiO₂-Precipitated Calcium Carbonate (PCC) sebagai Desinfektan dalam Penyediaan Air Bersih". *Laporan Akhir Penelitian Balai Besar Kimia dan Kemasan*. Tidak diterbitkan. 2010.